

$$N_{\Sigma} = i N_{K_i},$$

где $N_{K_1} \sim \Delta p_{K_1}^{2,5}, \dots, N_{K_i} \sim \Delta p_{K_i}^{2,5}$.

Итоговая зависимость будет выглядеть следующим образом:

$$N_{\Sigma} \sim I (\Delta p_{K\Sigma}/I)^{2,5} \sim I^{-1,5} \Delta p_{K\Sigma}^{2,5}, \quad (5)$$

Из окончательного выражения следует, что для двухступенчатого насоса по сравнению с одноступенчатой схемой, суммарная потребляемая мощность снизится в 2,83 раза, для трехступенчатого – 5,2 раза и т.д.

Таким образом, целесообразно применять многоступенчатую схему насосного агрегата в энергетических системах подачи с центробежными насосами малого коэффициента быстроходности.

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ГИБКИ ТРУБ ПРОТАЛКИВАНИЕМ

Егоров В. Г., Давыдов О. Ю., Ганеев М.В.

Федеральное государственное унитарное предприятие
 "Научно-исследовательский институт автоматизированных
 средств производства и контроля", г.Воронеж

Для формообразования осеботонкостенных крутоизогнутых патрубков применяют процесс гибки проталкиванием трубной заготовки через фильеру с одновременным приложением внутреннего давления эластичного наполнителя. Диаметр изгибаемых труб D может составлять от 20 до 200 мм, а отношение $D/t \leq 130$, где t - толщина стенки трубы.

В процессе формообразования трубная заготовка 1 (рис. 1), внутри которой находится наполнитель 2, проталкивается через криволинейный гибочный ручей 3 разъемной матрицы 4 и изгибается. В процессе изгиба эластичный наполнитель (резина, полиуретан, полиэтиленгликоль) сжимается между проталкивающим пуансоном 6 и подпорной гибкой шаровой оправкой 5, тем самым создается внутреннее давление, препятствующее гофрообразованию и возникновению овальности при гибке труб.

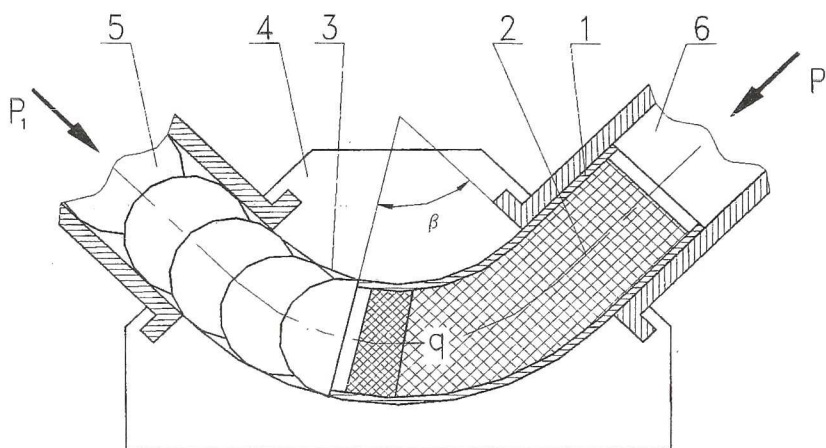


Рис.1.Способ изготовления гибкой крутоизогнутых патрубков

Основные параметры процесса формообразования (рис.2): внутреннее давление наполнителя q ; усилие проталкивания P ; усилие противодействия (подпора) P_1 . Геометрические параметры крутоизогнутого патрубка следующие (рис.2): внешний радиус трубы r_0 , радиус изгиба по средней линии R , угол изгиба β , толщина стенки t .

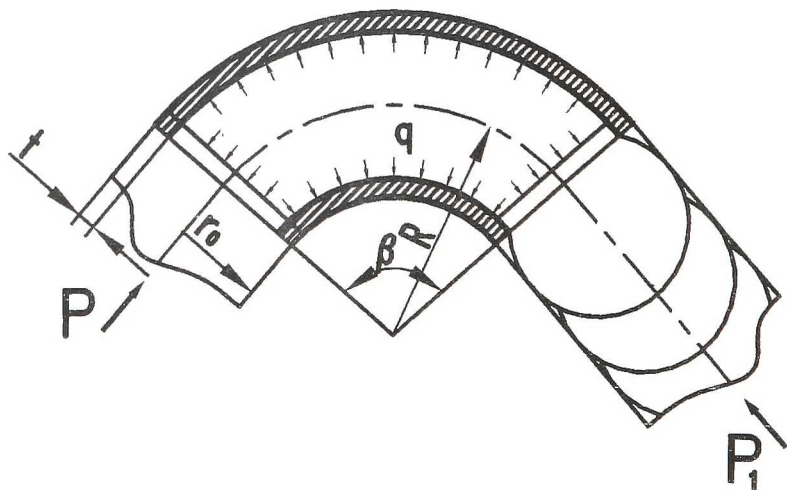


Рис.2. Параметры процесса формообразования крутоизогнутых патрубков

В исследованиях, проведенных ранее [1], предполагалось, что в процессе проталкивания точки поперечного сечения трубы перемешаются с постоянной линейной скоростью. В результате полученные расчётные значения энергосиловых параметров процесса оказались ниже экспериментальных значений.

Сделано предположение, что при проталкивании трубы через матрицу точки поперечного сечения трубы помимо линейного перемещения подвержены и повороту. В результате этого волокна, расположенные в зоне наружного радиуса изгиба, дополнительно растягиваются, а волокна, находящиеся в области внутреннего радиуса изгиба, дополнительно сжимаются. Это предположение подтверждается на практике тем, что при проталкивании трубы имеют место дефекты в виде разрыва заготовки в зоне наружного радиуса изгиба и гофры в области внутреннего радиуса.

В соответствии с выдвинутой гипотезой определены кинематические параметры основного состояния процесса формообразования [2]. При анализе возмущённого состояния процесса гибки получено следующее выражение для определения внутреннего давления наполнителя, необходимого для обеспечения устойчивости процесса [3]:

$$q = k \frac{(6r_0 - R)\bar{n}t \frac{\beta}{2}}{(R - r_0) \sqrt{1 + \left(\frac{16}{3}r_0^2\bar{n}^2 - \frac{2}{3}R\bar{n}\right)\left(\frac{\beta}{2}\right)^2 + \frac{1}{5}R^2\bar{n}^2\left(\frac{\beta}{2}\right)^4}}, \quad (1)$$

где k - предел текучести при сдвиге;

$$\bar{n} = \frac{R}{8r_0^2 + \frac{3}{5}R^2\beta^2}.$$

На основе определения основных энергетических параметров получена зависимость для расчёта усилия проталкивания

$$P = k2\pi r_0 t \beta \sqrt{1 - \frac{1}{3}R\bar{n}\beta^2} + q(2\pi\mu r_0 R\beta + \pi r_0^2), \quad (2)$$

где μ - коэффициент трения между заготовкой и материалом гибочного ручья.

Для экспериментальной отработки технологического процесса гибки патрубков проталкиванием заготовки труб имели специально подготовленную форму и размеры (рис. 3).

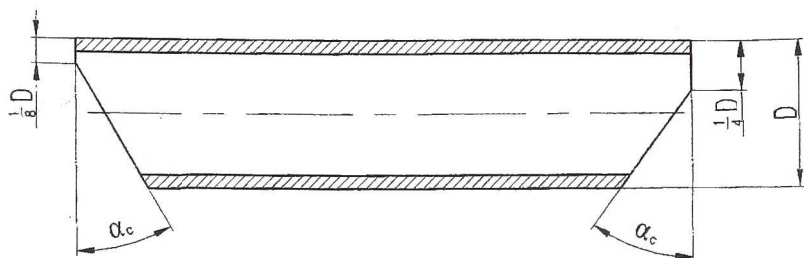


Рис. 3. Форма заготовки для гибки крутоизогнутого патрубка проталкиванием на угол $\beta = \pi/2$

Длина заготовки равна длине изогнутого патрубка по средней линии и длине прямых участков с учётом припусков на торцовку, т.е.

$$L_{\text{заг}} = \frac{\pi}{180} R\beta + l_1 + l_2,$$

где l_1, l_2 - прямолинейные участки патрубков с припусками на торцовку.

Минимальное значение прямолинейного участка патрубка, с учётом возможности автоматической сварки кольцевых швов при сборке элементов трубопровода в трассу, следующее [4]:

для титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей 20 мм;

для алюминиевых сплавов 10 мм.

Скосы на торцах заготовки выполнялись под одним и тем же углом α_c , величина угла определяется по формуле

$$\operatorname{tg} \alpha_c = \beta/2,$$

где α_c - угол скоса на торцах заготовки.

При формообразовании патрубков используются эластичные, легкоплавкие и комбинированные наполнители. Причём с ростом прочностных характеристик материала трубы должна возрастать твёрдость наполнителя. В качестве пластичных наполнителей рекомендуются: парафины (ГОСТ 23683-79); полиэтиленгликоль ПЭГ-115 (ТУ-14-826-82); эластичные наполнители: резина марок 56, 3826, 2671, 3687, 5168 твёрдостью от 40 до 80 единиц по Шору и относительным удлинением от 200 до 500 % (ТУ 38.005.1168-83), полиуретан марки СКУ-8Л (ТУ 84-404-88).

Для гибки патрубков из титановых сплавов применялся эластичный наполнитель из шайб полиуретана. Для формообразования патрубков из алюминиевых сплавов применялся наполнитель из мягких марок резины.

Эластичный наполнитель помещался в полость заготовки в виде

шайб толщиной 5÷10 мм с минимальным зазором между стенкой и шайбой от 0,1 до 0,15 мм.

В качестве смазочного материала применялся лак марки ХВ-5179 (ТУ-6-10-1244-82), толщиной от 0,1 до 0,15 мм, который наносился на поверхность заготовки окунанием. Затем заготовку выдерживали в подвешенном состоянии в сушильных шкафах.

Дополнительно проводилась смазка наружной поверхности заготовки натиранием влажным куском детского мыла (ГОСТ 28546-90). Смазка на наружную поверхность наносилась после заполнения заготовки наполнителем, непосредственно перед гибкой.

Обработка технологического процесса по формообразованию крутоизогнутых патрубков осуществлялась на специализированных прессах ПГФП-20/100 и ПШП-50/200. При этом учитывалось, что данные, считываемые с манометра гидроцилиндра пресса, соответствуют давлению жидкости в этом цилиндре. Поэтому давление эластичного наполнителя на переднем торце трубной заготовки q_T необходимо определять из выражения

$$q_T = \frac{q_{\text{ц}} D_{\text{ц}}^2}{D_{\text{тр}}^2},$$

где $D_{\text{ц}}$ - диаметр гидроцилиндра пресса ($D_{\text{ц}}=200$ мм для ПГФП-20/100; $D_{\text{ц}}=320$ мм для ПШП-50/200);

$q_{\text{ц}}$ - давление жидкости в поршневой полости;

$D_{\text{тр}}$ - внутренний диаметр трубы.

В то же время известно, что величина давления эластичного наполнителя уменьшается вдоль образующей деформируемой цилиндрической оболочки, начиная от торца, к которому приложено усилие, за счёт контактного трения между эластичной средой и внутренней поверхностью трубы [5]. Следовательно, давление эластичного наполнителя на стенку изгибаемой трубы будет минимальным вблизи пуансона проталкивания. Поэтому давление внутри трубной заготовки вблизи пуансона проталкивания q связано с давлением на торце подпора соотношением

$$q = \frac{q_T}{\eta},$$

где η - коэффициент, учитывающий неравномерность давления эластичного наполнителя по длине образующей изгибаемой трубной заготовки

ки[6]. Для угла изгиба патрубков $\beta = \pi/2$ и радиуса гибки $R = 2r_0$ принимается значение $\eta = 2$.

Определяя внутреннее давление наполнителя, необходимое для обеспечения устойчивости процесса, q по формуле (1) и усилие проталкивания P по зависимости (2), были проведены эксперименты по изготовлению крутоизогнутых патрубков. Значения внутреннего давления отличаются от теоретических не более чем на 7 %, а значения усилия проталкивания на 1÷9 %.

Выводы:

1. На основе предположения, что при проталкивании трубной заготовки точки её поперечного сечения подвержены и повороту, получены зависимости для определения внутреннего давления наполнителя и усилия проталкивания, необходимых для обеспечения устойчивости процесса деформирования крутоизогнутых патрубков.

2. Сравнение теоретических и экспериментальных значений энергосиловых параметров показали их хорошую сходимость. Полученные формулы могут быть рекомендованы для отработки технологических процессов в производственных условиях.

Список литературы

1. Давыдов О.Ю., Егоров В.Г., Чудаков П.Д. Теоретический анализ устойчивости деформирования жесткопластических тел. -Воронеж. технол. ин-т. –Воронеж, 1988.-23 с. –Деп. в ВНИИТЭМП 22.11.88, № 419-мш 88.
2. Егоров В.Г., Давыдов О.Ю., Ганеев М.В. Моделирование пластического течения при формообразовании труб проталкиванием // Современные материалы и технологии –2002 :Сб. матер. международ. науч.-техн. конф. – Пенза : ПДЗ, 2002. –С.180-183.
3. Егоров В.Г., Давыдов О.Ю., Ганеев М.В. Определение внутреннего давления наполнителя при гибке труб проталкиванием. // Механика и процессы управления. Труды XXXII Уральского семинара. –Екатеринбург: Уральское отделение РАН,2002. –С.249–253.
4. Руководящий технический материал РТМ 1.4.1804-87. Формообразование патрубков на прессе ПШП-50/200 / Н.Д. Захарченко, В.Г. Егоров, П.Д. Чудаков и др. М.: НИАТ, 1988. -97 с.
5. Исаченков Е.И. Контактное трение и смазки при обработке металлов давлением. –М.: Машиностроение, 1978. –208 с.
6. Егоров В.Г.Разработка технологических процессов и определение энергосиловых параметров формообразования высокоресурсных элементов особотонкостенного трубопровода: Дис. ... канд. тех. наук. –М.: МАСИ (ВТУЗ–ЗИЛ), 1989. –222с.